

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN
EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
23 de Agosto de 2001 (23.08.2001)

PCT

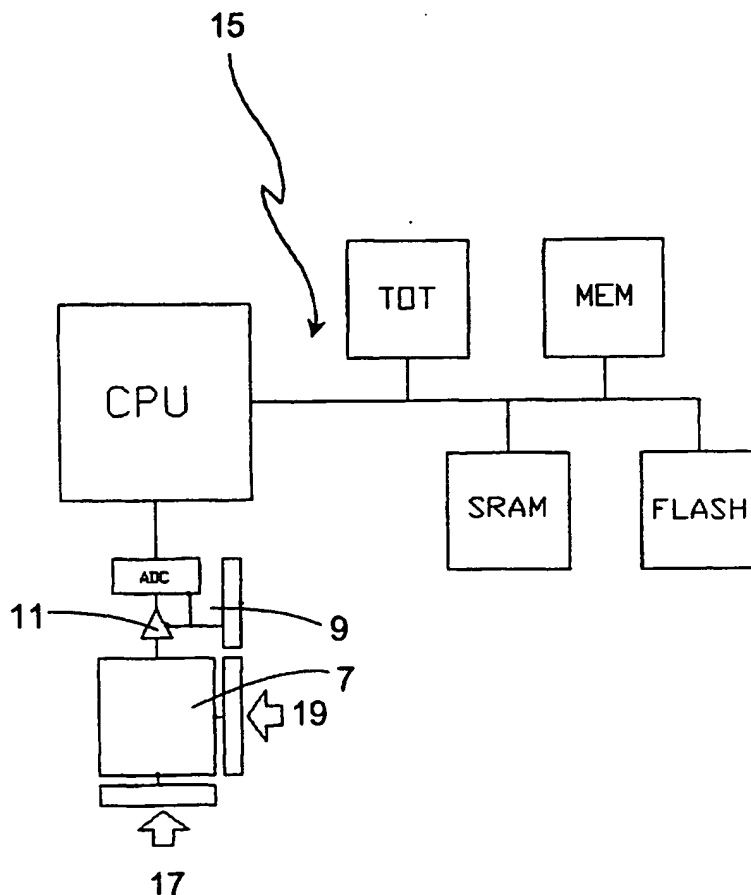
(10) Número de Publicación Internacional
WO 01/61371 A2

- (51) Clasificación Internacional de Patentes⁷: **G01S** (71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US): **FICO MIRRORS S.A.** [ES/ES]; Ctra. nacional 152, Km. 19, 6, E-08100 Mollet del Vallès (ES).
- (21) Número de la solicitud internacional: **PCT/ES01/00057**
- (22) Fecha de presentación internacional: 16 de Febrero de 2001 (16.02.2001) (72) Inventores; e (75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **SARTORI, Alvise** [IT/IT]; Via Gabriolo, 14, I-38050 Povo (IT). **TEC-CHIOLLI, Giampietro** [IT/IT]; Via Chini, 4, I-38100 Trento (IT). **CRESPI, Bruno** [IT/IT]; Via Gionghi, 19, I-38040 Lavarone (IT). **TARRAGO PUJOL, José María** [ES/ES]; Acacias, 10, E-08193 Bellaterra (ES). **DAURA LUNA, Francesc** [ES/ES]; Taronger, 12, E-08192 Sant Quirze del Vallès (ES). **BANDE MARTINEZ, Daniel**
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad: P 200000378 18 de Febrero de 2000 (18.02.2000) ES

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: DEVICE FOR DETECTING THE PRESENCE OF OBJECTS

(54) Título: DISPOSITIVO DE DETECCIÓN DE PRESENCIA DE OBJETOS



(57) Abstract: The invention concerns a device for detecting the presence of objects, which is mounted in an automobile. Said device has at least one blind spot in which the device can detect an object located in said blind spot and comprises the following elements: a receiver that is capable of detecting electromagnetic waves that includes a focusing device and a photosensing device which transforms the electromagnetic waves into electrical signals; an electronic circuit that transforms the electrical signals into digitized signals; a logical circuit that analyzes the digitized signals to analyze the presence of objects moving in relation to said vehicle in the blind spot and that emits variable output signals depending on the result of said analysis, in addition to indicating elements that are activated by the output signals, which can be perceived by the driver.

(57) Resumen: Dispositivo de detección de presencia de objetos, del tipo que van montados en un vehículo automóvil, que presenta por lo menos un ángulo muerto, donde el dispositivo de detección es apto para detectar un objeto situado en el ángulo muerto y comprende: un receptor apto para detectar unas ondas electromagnéticas, con un dispositivo focalizador, y un fotosensor que

[Continúa en la página siguiente]

WO 01/61371 A2

transforma



- [ES/ES]; Sant Onofre, 49, E-08800 Vilanova i la Geltrú (ES).
- (74) **Mandatarios:** CURELL SUÑOL, Marcelino etc.; Passeig de Gràcia 65 bis, E-08008 Barcelona (ES).
- (81) **Estados designados (nacional):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) **Estados designados (regional):** patente ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), patente euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), patente europea (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), patente OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publicada:**
— *sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe*
- Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.*

dichas ondas electromagnéticas recibidas en unas señales eléctricas, un circuito electrónico que transforma las señales eléctricas en unas señales digitalizadas, un circuito lógico que analiza las señales digitalizadas para analizar la presencia de objetos en el ángulo muerto con un movimiento relativo respecto de dicho vehículo, y que emite unas señales de salida variables en función del resultado del análisis, [d] unos elementos indicadores, activados mediante las señales de salida, aptos para ser percibidos por el conductor.

DISPOSITIVO DE DETECCIÓN DE PRESENCIA DE OBJETOS

DESCRIPCION

5

La invención se refiere a un dispositivo de detección de presencia de objetos, del tipo que van montados en un vehículo automóvil, que presenta por lo menos un ángulo muerto, donde el dispositivo de detección es apto para detectar un objeto situado en el ángulo muerto.

10

Los vehículos automóviles convencionales suelen disponer de unos espejos retrovisores, generalmente uno interno y uno o dos externos, que permiten al usuario o conductor ver hacia atrás sin necesidad de que el usuario se gire sobre sí mismo. Sin embargo, a pesar de disponer de una pluralidad de espejos, suelen quedar unas zonas, llamadas ángulos muertos, que no quedan cubiertas por dichos espejos.

15

Es conocido el empleo de sistemas que captan una imagen orientada hacia un ángulo muerto mediante una cámara CCD y que la muestran al usuario a través de una pantalla colocada en el habitáculo del vehículo. Estos sistemas permiten que el usuario pueda ver los ángulos muertos sin necesidad de incorporarse, sin embargo, presentan una serie de inconvenientes: requieren unos sistemas de transmisión de imagen con una calidad suficiente para que el usuario perciba una imagen clara, lo que requiere trabajar con una elevada cantidad de pixels, se debe disponer de espacio en el habitáculo para poder colocar la correspondiente pantalla, el sistema no procesa la imagen, sino que únicamente la transmite, etc. Son, por tanto, unos sistemas caros y que no colaboran activamente en la detección de situaciones de riesgo.

20

25

La invención tiene por objeto superar estos inconvenientes. Esta finalidad se consigue mediante un dispositivo de detección de presencia de objetos del tipo indicado al principio caracterizado porque comprende: [a] un receptor apto para detectar unas ondas electromagnéticas, que comprende un dispositivo focalizador, y un fotosensor que transforma las

30

- 2 -

ondas electromagnéticas recibidas en unas señales eléctricas, donde el fotosensor define una superficie de imagen, [b] un circuito electrónico que transforma las señales eléctricas en unas señales digitalizadas, [c] un circuito lógico que analiza las señales digitalizadas para analizar la presencia de objetos en el ángulo muerto con un movimiento relativo respecto del vehículo, y que genera unas señales de salida variables en función del resultado del análisis, [d] unos elementos indicadores, activados mediante las señales de salida, aptos para ser percibidos por el conductor, el acompañante o, en general, por cualquier pasajero del vehículo.

Efectivamente, un dispositivo de detección de este tipo capta la imagen del ángulo muerto y la analiza, informando al conductor del resultado del análisis. Ello tiene una serie de ventajas: al conductor no se le muestra la imagen del ángulo muerto, por lo que no es necesario disponer de espacio en el habitáculo para una pantalla, adicionalmente al conductor se le da una información de "mayor valor", en el sentido que, por parte del dispositivo de detección, ya se ha hecho una labor de análisis, y se comunica al conductor o usuario el resultado del análisis. Por otro lado, el dispositivo de detección requiere unos receptores con una cantidad de pixels menor que la necesaria para presentar al usuario una imagen del ángulo muerto con una mínima calidad, por lo que el dispositivo de detección puede ser equipado con receptores más económicos sin que pierda prestaciones.

El dispositivo de detección no analiza únicamente la presencia de un objeto en el ángulo muerto, sino que da una idea cualitativa de la velocidad relativa del objeto respecto del vehículo y, por tanto, determina si el objeto se acerca o se aleja, y con una idea aproximada de la velocidad. Ello permite que la información que se suministra al conductor sea más completa, ya que puede distinguir diferentes niveles de riesgo en función de la velocidad relativa del objeto.

El dispositivo de detección también da una idea cualitativa de la distancia relativa del objeto respecto del vehículo y, por tanto, determina la posición del objeto con respecto al vehículo. Ello permite que la

- 3 -

información que se suministra al conductor sea más completa, ya que puede distinguir diferentes niveles de riesgo en función de la posición del objeto.

El fotosensor es preferentemente un conjunto de elementos
5 sensores, que ventajosamente son fotodiodos, distribuidos según una matriz de dos dimensiones, plana, que define unas filas paralelas entre sí. De esta forma, la matriz de elementos sensores define la superficie de imagen, que está compuesta por una pluralidad de pixels, donde a cada pixel le corresponde un elemento sensor.

10 Los fotodiodos transforman las ondas electromagnéticas en una corriente eléctrica. Esta corriente eléctrica se transforma preferentemente en una tensión eléctrica y se amplifica.

Es preferente que el fotosensor esté constituido por unos elementos sensores activos que presenten un rango dinámico igual o superior a las
15 seis décadas ($10^6 = 120$ dB) en una misma superficie de imagen, es decir, que entre el valor umbral mínimo de detección, y el umbral de saturación hay un rango de seis décadas, expresando las intensidades de luz en lux. Asimismo, un pixel que en un instante determinado está recibiendo el valor mínimo de detección, puede detectar en la siguiente adquisición de imagen
20 un valor que sea seis décadas mayor, y viceversa. Ello permite que el receptor pueda trabajar en múltiples condiciones de luz, e incluso en condiciones de luz adversas, con fuertes contrastes de luz, como en la conducción nocturna. Por la misma razón es preferente que un mismo elemento sensor presente un rango dinámico igual o superior a las seis
25 décadas entre dos imágenes consecutivas.

Preferentemente el circuito electrónico puede efectuar una selección de cada uno de dichos elementos sensores activando la correspondiente fila y la correspondiente posición en dicha fila, siendo así posible seleccionar cualquier elemento sensor a continuación de cualquier
30 elemento sensor. De esta manera, se puede tomar la señal eléctrica procedente de cada uno de los elementos sensores y se puede amplificar y digitalizar secuencialmente todos los pixels que conforman la superficie de imagen. Alternativamente es también posible que el circuito electrónico

- 4 -

transforme simultáneamente todas las señales eléctricas de una fila de elementos sensores a señales digitalizadas. En cada diseño concreto se deberá entonces valorar el mayor coste de esta solución frente a la mayor rapidez de digitalizado de la imagen.

- 5 Como ya se ha indicado anteriormente, uno de los objetivos de la presente invención es poder emplear receptores con unos fotosensores de bajo coste. En este sentido, es preferente que la matriz de elementos sensores sea de cómo máximo 512 x 512 elementos sensores, y muy preferentemente que sea de como máximo 320 x 256 elementos sensores.
- 10 En general estos valores hacen referencia a la cantidad de sensores activos para el procesado de la imagen. Es decir, es posible que la matriz de elementos sensores disponga de más elementos sensores, pero que no estén activados para el procesado de la imagen.

- 15 Una vez digitalizada la imagen el circuito lógico analiza la superficie de imagen. Para ello realiza preferentemente una convolución matemática, en particular un kernel de convolución apropiado para una detección de movimiento, a lo largo de toda la superficie de imagen de la señal digitalizada o a lo largo de una parte de la misma.

- 20 El circuito lógico comprende preferentemente un circuito electrónico especializado que incluye: [a] una unidad central de proceso (CPU) secuencial de tipo Von Neumann, [b] un coprocesador en paralelo, especializado en el cálculo de la convolución sobre toda la superficie de imagen, y que incluye por lo menos 32 multiplicadores acumuladores paralelos con una alta velocidad de cálculo aptos para calcular la
- 25 convolución directamente sobre la superficie de imagen a una velocidad de cálculo tal que la convolución se complete antes de iniciarse una nueva adquisición de imagen, y [c] una memoria RAM local. En particular es preferente que la velocidad de cálculo sea tal que permita calcular una convolución en un tiempo inferior a 100 ms.

- 30 Preferentemente el dispositivo de detección es apto para distinguir un vehículo de otros objetos. Ello se consigue, por ejemplo, a base de reconocer unos bordes o aristas, formar unos rectángulos con dichos bordes y comparar dichos rectángulos con unos patrones. Cuando ha

- 5 -

detectado un vehículo, analiza a partir de la siguiente imagen la velocidad relativa entre el vehículo detectado y el vehículo portador del dispositivo de detección.

Una forma preferente de realización de la invención prevé dividir la superficie de imagen en por lo menos dos partes, y emplear técnicas de análisis diferentes en cada una de dichas partes. Así, en una de dichas partes la técnica consiste en la ya indicada en el párrafo anterior, es decir, en el reconocimiento de los bordes, la formación de unos rectángulos, en la comparación de los rectángulos con unos patrones y en la comparación de dos imágenes consecutivas para calcular la velocidad relativa, mientras que en otra de las partes se emplea una técnica basada en una diferencia de fase para obtener una estimación del flujo óptico en una dirección determinada, concretamente en dirección de la calle o carretera por la que circula el vehículo.

Otra técnica de análisis consiste en detectar aristas verticales y/o horizontales claramente marcadas sobre la imagen de la carretera. Ventajosamente esta técnica incluye también el seguimiento, a lo largo de imágenes sucesivas, del movimiento de dichas aristas, y el cálculo, a partir de dicho seguimiento, de la velocidad relativa entre el objeto (vehículo) detectado y el vehículo portador del dispositivo de detección. Esta técnica se describe con más detalle más adelante.

Asimismo es posible que en alguna de las partes en las que se ha dividido la superficie de imagen se hagan servir simultáneamente más de una técnica de análisis.

En general, el dispositivo de detección debe suministrar una señal de aviso cuando detecta una situación en la que hay un riesgo de colisión. Esta señal debe servir para que el conductor tenga tiempo de evitar o de corregir una maniobra peligrosa. En este sentido es evidente que la señal de aviso debe de activarse con tiempo suficiente para que el conductor pueda reaccionar adecuadamente. Si se considera una situación en la que un vehículo entra en una autopista, lo que representa una situación extrema por lo que respecta a la velocidad relativa entre el vehículo entrante y los vehículos que circulan por la autopista, se comprende que el

dispositivo de detección debe tener un radio de acción elevado, para poder avisar al conductor con tiempo suficiente. Por ello es preferente que el radio de acción del dispositivo de detección sea mayor de 15 m, o mejor aun, mayor de 20 m. En este sentido, el dispositivo de detección cubre un
5 campo de visión más grande que estrictamente el ángulo muerto. Así, el dispositivo de detección puede detectar situaciones de riesgo y alertar al conductor incluso aunque la situación de riesgo fuese detectable a través del espejo retrovisor. De esta manera el dispositivo de detección colabora de una forma más amplia en la seguridad durante la conducción del
10 vehículo.

El dispositivo focalizador puede comprender cualquier elemento óptico habitual y que sea evidente para un experto en la materia. En particular, puede disponer de una lente o de una microlente integrada en el circuito integrado que incluye el dispositivo focalizador. Asimismo es
15 posible incluir una guía de transmisión de ondas electromagnéticas. Ello permitiría, por ejemplo, colocar todo el dispositivo de detección en un punto cualquiera en el interior del vehículo, y conectarlo con el exterior a través de dicha guía. Sin embargo, las reducidas dimensiones del dispositivo de detección permiten colocarlo en el interior de un espejo retrovisor, lo que
20 constituye una forma preferente de realización, o incluso es posible colocar un dispositivo de detección en cada uno de los espejos retrovisores exteriores de un vehículo.

Para conseguir unos tamaños reducidos, al mismo tiempo que unos consumos bajos y una simplificación en las comunicaciones entre los
25 diferentes componentes del dispositivo de detección, es recomendable que el circuito electrónico y el fotosensor sean de tecnología CMOS, DMOS, MOS, Si-Ge, BiCMOS o de tecnología SOI (silicon on insulator), y que el fotosensor y el circuito electrónico estén físicamente unidos en un módulo multi-chip (MCM, multi chip module) sobre un sustrato de material plástico,
30 fibra de vidrio (FR4), cerámico o de silicio.

Opcionalmente se puede mejorar la capacidad del dispositivo de detección de analizar las situaciones de riesgo si, a las características de detección de un objeto que se aproxima, se le añade la capacidad de

- 7 -

detectar si el vehículo en el que va montado el dispositivo de detección ha inicializado acciones indicadoras de una aproximación al objeto. En particular, es ventajoso que el dispositivo de detección sea capaz de detectar la puesta en marcha de una luz intermitente y/o que sea capaz de
5 detectar un giro en el volante del vehículo.

También es interesante que el dispositivo de detección sea capaz de comunicar al usuario o conductor del vehículo diversas señales, que permitan matizar la señal de aviso en función del riesgo de colisión. Así es preferible que los elementos indicadores incluyan unas señales luminosas
10 con por lo menos dos colores, donde cada color indica un nivel de aviso diferente. También es ventajoso incluir un elemento de salida que permita la representación de pictogramas, donde dicho elemento de salida es una matriz de LED's o una pantalla gráfica.

Asimismo puede haber una situación de riesgo si un pasajero del
15 vehículo portador del dispositivo de detección abre una puerta sin mirar si se aproxima otro vehículo por detrás. Es, por tanto, ventajoso que el dispositivo de detección indique también a los pasajeros del vehículo dichas situaciones de riesgo.

Es ventajoso permitir que el dispositivo de detección actúe sobre el
20 cierre de las puertas. Así, por ejemplo, puede bloquear una puerta si detecta una situación de riesgo.

Finalmente es ventajoso añadir al dispositivo de detección de presencia de objetos un dispositivo de detección de somnolencia del conductor. Preferentemente en dispositivo de somnolencia comparte la
25 mayoría de los dispositivos físicos con el dispositivo de detección de presencia de objetos y emite una señal de alarma en función de la posición relativa entre el vehículo portador del dispositivo de detección y las líneas de marcado de los carriles de la carretera.

Otras ventajas y características de la invención se aprecian a partir
30 de la siguiente descripción, en la que, sin ningún carácter limitativo, se relata un modo preferente de realización de la invención, haciendo mención de los dibujos que se acompañan. Las figuras muestran:

Figs. 1A - 1D, esquema de los ángulos muertos de un vehículo, las zonas de visión directa y a través del espejo retrovisor izquierdo, y la zona cubierta por un dispositivo de detección de acuerdo con la invención.

Fig. 2, esquema simplificado de un dispositivo de detección de
5 acuerdo con la invención.

Fig. 3, vista en alzado frontal de un espejo retrovisor mostrando 5 posibles ubicaciones del receptor.

Fig. 4, esquema de una superficie de imagen

Fig. 5, la superficie de imagen de la Fig. 4, dividida en tres partes

10 Fig. 6, un diagrama de bloques de un algoritmo de acuerdo con la invención.

A modo de ejemplo, en las Figs. 1A a 1D se muestran esquemáticamente las zonas visibles a través del espejo retrovisor 1 del
15 lado izquierdo (lado conductor), las zonas visibles gracias a la visión periférica lateral del conductor 3, y los ángulos muertos 5. Las zonas visibles a través de los espejos retrovisores 1 deben cumplir una serie de requisitos legales, por ejemplo los definidos en E.C. 71/127 y en las directivas siguientes. En particular, tal como se muestra en la Fig. 1A, el
20 ángulo de visión debe ser tal que a una distancia de 10 m del espejo retrovisor, la anchura de la zona vista sea de cómo mínimo 2'5 m. En la Fig. 1A se ha mostrado un área rectangular sombreada que corresponde con la exigencia legal, y un área triangular que corresponde con la visión real a través de un espejo retrovisor convencional que cumpla con el
25 requisito legal.

Estos ángulos muertos 5 son precisamente los que se quieren cubrir con el dispositivo de detección. El dispositivo de detección debe, además, solaparse parcialmente con el área vista por el espejo retrovisor, a fin de evitar discontinuidades entre lo que detecta el sensor y lo que
30 aprecia el conductor. Por esta misma razón es conveniente que el sensor también cubra parte del área vista directamente por el conductor. En este sentido, una posible solución consiste en emplear un dispositivo de detección que cubra un área como la sombreada en la Fig. 1C: una zona

en forma de triángulo rectángulo cuyos catetos sean ambos de 4'5 m seguido de una zona rectangular de 4'5 m de ancho. La longitud total del área cubierta puede depender, en función de las prestaciones del dispositivo de detección. A modo de ejemplo, en la Fig. 1C se ha
5 representado un alcance de 20 m, si bien el dispositivo de detección que se describe a continuación tiene un alcance de más de 20 m.

En la Fig. 1D se han representado todas las zonas anteriores conjuntamente. Se aprecia que el ángulo muerto queda cubierto prácticamente en su totalidad, por lo que se refiere a la zona
10 correspondiente al carril adyacente. Asimismo hay un solape con las zonas vistas directamente o a través del espejo retrovisor.

El dispositivo de detección de acuerdo con la invención que se muestra en las Figs. 2 a 5, comprende un receptor 7, que está formado por una matriz de 256 filas de fotodiodos, con 320 fotodiodos en cada fila. El
15 receptor 7 recibe las ondas electromagnéticas procedentes del exterior, en este caso particular dentro del rango de la luz visible, convenientemente enfocadas gracias a una lente. Al incidir la luz sobre los fotodiodos, éstos generan una corriente eléctrica cuya intensidad es función de la intensidad de luz recibida. Esta corriente eléctrica es convertida a una tensión
20 eléctrica. Seleccionando una fila y una posición dentro de la fila, se puede seleccionar un fotodiodo determinado, el cual transmite así la señal eléctrica a un circuito electrónico 9. El circuito electrónico 9 tiene una etapa de amplificación 11, y una unidad de conversión analógico-digital ADC, de la que sale una señal digitalizada.

25 La señal digitalizada es introducida en un circuito lógico 15. El circuito lógico 15 comprende una unidad central de proceso CPU secuencial de tipo Von Neumann, un coprocesador en paralelo TOT que calcula la convolución y que se apoya en una memoria auxiliar MEM, una memoria permanente FLASH y una memoria RAM, de acceso rápido (SRAM). La unidad central de proceso CPU controla asimismo al receptor
30 7, enviando las señales de selección de fila 17 y de posición dentro de la fila 19 a los correspondientes registros, y al circuito electrónico 9.

El receptor 7 capta una imagen, que incluye el ángulo muerto, que se proyecta sobre la superficie de imagen formada por los fotodiodos. Esta superficie de imagen es la que se transmite al circuito lógico 15 como una serie de pixels digitalizados. El receptor 7 está orientado de tal manera que el borde lateral de la superficie de imagen queda prácticamente enrasada con la superficie lateral del coche 21 y el borde superior de la superficie de imagen está enrasado con el horizonte 23. El circuito lógico 15 determina la dirección de movimiento a lo largo de la calle o carretera, lo que le permite determinar si un movimiento detectado es en la dirección de la carretera o si es en otra dirección, por ejemplo vertical. De esta manera puede filtrar "ruidos", como puede ser la lluvia, la nieve, vehículos en sentido contrario, etc.

En la Fig. 3 se muestran unos ejemplos de posicionamiento del receptor 7 o, en su caso, del extremo de la guía de ondas electromagnéticas, en un espejo retrovisor exterior.

Como ya se ha indicado anteriormente, es posible la realización de diversos algoritmos de análisis de la imagen. En un caso la superficie de imagen es dividida en dos partes 25, 27, que presentan una zona de solape 29, tal como se muestra en la Fig. 5. El circuito lógico 15 dispone de dos algoritmos independientes: un algoritmo detector de vehículos, que se aplica en la parte 25, y un algoritmo detector de movimiento, que se aplica en la parte 27. En la zona de solape 29 se aplican ambos algoritmos. El algoritmo detector de vehículos reconoce los bordes de figuras existentes en la superficie de imagen, selecciona los bordes dispuestos horizontal y verticalmente y se compara con unos patrones para determinar si existe un objeto con una forma similar a la de un vehículo. En caso positivo, se analiza la siguiente imagen obtenida por el receptor 7, lo que permite determinar la dirección del movimiento, así como la velocidad del objeto. El algoritmo detector de movimiento se basa en una técnica de diferencia de fase para obtener una estimación del flujo óptico en la dirección de la carretera. El resultado es comparado con los resultados obtenidos en imágenes anteriores, para eliminar errores y ruidos por medio de una comprobación de consistencia.

Otro posible algoritmo de análisis de imágenes se basa en lo siguiente. Como ya se ha dicho el dispositivo está diseñado para detectar vehículos que adelantan al vehículo portador del dispositivo mediante la serie de imágenes capturadas con una cámara digital, por ejemplo una
5 cámara CMOS, dispuesta en el espejo retrovisor de un vehículo.

La presencia de un vehículo que se aproxima se basa en la detección y seguimiento de objetos que se mueven a lo largo del eje de la carretera (en general cualquier vía pública) en sentido de aproximación con respecto del vehículo portador del dispositivo. A partir de una imagen, se
10 puede apreciar la presencia de un vehículo por la presencia de aristas (o bordes) claramente marcadas en sentido vertical y horizontal sobre el pavimento de la carretera. En imágenes sucesivas estos elementos visuales (las aristas verticales y horizontales) se mueven hacia delante si son parte de un vehículo que se aproxima. Por el contrario se mueven
15 hacia atrás si son parte de objetos estáticos (como elementos de la carretera, vallas protectores, árboles, señales de tráfico, hitos, etc.) o si pertenecen a vehículos que se mueven en sentido contrario que el vehículo portador del dispositivo. Por lo tanto un movimiento hacia delante coherente es interpretado como vehículo que está adelantando.

20 Esta interpretación es generalmente correcta en autopistas o carreteras similares, en las que los carriles están claramente definidos y las curvas suelen ser de radios amplios. En estos casos la imagen es una perspectiva sencilla y el carril de adelantamiento puede ser aislado de una forma sencilla del resto del escenario usando una máscara apropiada. Por
25 ello el movimiento hacia delante en el carril de adelantamiento es una indicación clara de un vehículo que se está aproximando. Ruidos e interferencias debido a baches o movimientos bruscos del vehículo portador del dispositivo pueden ser eliminados a base de obligar que el movimiento hacia delante sea coherente a lo largo de diversas imágenes
30 sucesivas.

La imagen visual en una carretera que no sea una autopista o similar es mucho más compleja en particular, los giros a la izquierda del vehículo portador del dispositivo pueden generar un movimiento aparente

consistente que puede generar falsas alarmas. Esto es particularmente frecuente en ambientes urbanos, donde la escena visual tiene una gran cantidad de objetos (coches aparcados, edificios, señalizaciones de tráfico diversas, etc.) que presentan aristas marcadas. Además la distancia real
5 entre el vehículo que se aproxima y el vehículo portador del dispositivo no puede ser estimada correctamente a partir de su posición, ya que los carriles no están bien definidos. Por este motivo es conveniente que el dispositivo detector tenga un módulo de funcionamiento específico para cuando el vehículo portador gira a la izquierda. De esta manera, durante
10 un giro a la izquierda, el campo de detección se desplaza hasta una posición más próxima al vehículo portador y se imponen unos requerimientos más restrictivos antes de activar la señal de alarma. Como consecuencia la señal de alarma se activará cuando el vehículo que se aproxima está más cerca del vehículo portador. Sin embargo esto no es un
15 problema porque durante las curvas cerradas las velocidades de los vehículos son más reducidas que en las autopistas u otras vías rápidas. Además dada la configuración de la calle y la frecuente presencia de intersecciones, no es necesario un largo rango de detección en el caso de un entorno urbano.

20 Como ejemplo concreto la cámara puede disponer de un sensor que es una matriz CMOS de 320 x 256 con un rango dinámico elevado (120 dB). El tamaño de las imágenes procesadas es de por lo menos 128 x 128 pixels. El campo de visión de la cámara es de aproximadamente unos 55°. La cámara está posicionada de tal manera que:

- 25 - el borde vertical izquierdo de la imagen está próximo al borde lateral del vehículo portador.
- El borde superior de la imagen está ligeramente por encima de la línea del horizonte, aproximadamente un octavo de la imagen.
- 30 - La cámara está ligeramente inclinada en sentido horario de manera que alinea la imagen a lo largo del eje de la carretera.

Se emplea una máscara, que se controla a partir del software, que delimita la región de interés de las imágenes. La máscara se posiciona de

tal manera que un coche situado en el carril de adelantamiento de una carretera recta y a una gran distancia queda posicionado en el extremo superior izquierdo de la máscara. La posición de la máscara en la imagen puede ser ajustada para conseguir un ajuste fino del campo de visión.

5 Para que el dispositivo de detección funcione adecuadamente la velocidad de captación de imágenes debería ser preferentemente superior a las 40 imágenes por segundo, ya que de esta manera el dispositivo es capaz de seguir la trayectoria de los vehículos que se aproximan con una mayor precisión.

10 El algoritmo del dispositivo de detección tiene básicamente cuatro módulos principales:

- Un módulo de detección de flujo óptico. El algoritmo usa una técnica basada en la diferencia de fases para producir una estimación densa del flujo óptico en la dirección del eje de la
15 carretera. Para ello se procesa un par de imágenes sucesivas. Elementos visuales que no se estén moviendo hacia delante son filtrados y eliminados. Las imágenes resultantes son alimentadas a los siguientes módulos. Este módulo es opcional y puede ser no utilizado.
- 20 - Módulo de detección y seguimiento de vehículos. En la región delimitada por la máscara en algoritmo calcula las aristas de la imagen y sus direcciones. Las aristas verticales y las aristas horizontales son normalizadas y son integradas a lo largo de los ejes vertical y horizontal respectivamente. El factor de
25 normalización es ajustado dinámicamente en base a la densidad promedio de la arista. La proyección unidireccional de dichas aristas sobre el eje de coordenadas correspondiente se emplea para trazar la trayectoria según dicho eje. Objetos que
30 se aproximen generan proyecciones con velocidades positivas, es decir hacia la derecha y hacia abajo de la imagen. Estos puntos son separados de otros puntos que sean estacionarios o que presenten movimientos relativos a base de filtros

direccionales. Las trayectorias resultantes son identificadas y seleccionadas.

- 5 - Módulo de detección de vehículos sin velocidad relativa. Una vez que se ha identificado la trayectoria de un vehículo que se aproxima (mediante el desplazamiento de sus proyecciones unidireccionales correspondientes) se estima y supervisa la velocidad del vehículo. Por lo tanto es posible detectar situaciones en las que éste vehículo que se aproximaba reduce su velocidad y circula a la misma velocidad que el vehículo portador del dispositivo, quedándose a una corta distancia del
10 vehículo portador del dispositivo. En estos casos es posible emitir algún tipo de señal de alarma específico hasta que no se observe que el entorno de la imagen del vehículo que se aproximada sufre cambios sustanciales (alejándose o adelantando al vehículo portador del dispositivo de detección).
15 Es decir, este módulo permite el control de situaciones de tráfico (por ejemplo tráfico denso) en el que tiene lugar la circulación en paralelo, es decir, vehículos circulando por carriles diferentes a velocidades prácticamente iguales. En estos casos es
20 relativamente frecuente que un vehículo quede posicionado en el ángulo muerto de otro vehículo, lo que puede generar situaciones de peligro.
- Módulo de detección durante los giros a la izquierda.- Durante
25 los giros a la izquierda se produce un desplazamiento de los elementos visuales contenidos en diferentes imágenes constante y global. Mediante una técnica en correlaciones se detectan los desplazamientos constantes en la parte superior de imágenes sucesivas. La coherencia de esta señal durante
30 diversas imágenes sucesivas se usa como indicación de que el vehículo portador está girando y, por tanto, que debe ser activado el módulo de detección de giros a la izquierda.

La Figura 6 se muestra un diagrama de bloques en el que se muestra las etapas del algoritmo. Las referencias indicadas representan los siguientes bloques:

- 5 6.1 – inicio del algoritmo
- 6.2 – adquisición de imagen
- 6.3 – estimación del flujo óptico
- 6.4 – detector de giros a la izquierda
- 6.5 – detección y seguimiento de vehículos
- 10 6.6 - ¿Movimiento hacia delante consistente? ¿Vehículos con
 velocidad relativa cero?
- 6.7 – activar alarma

En primer lugar el módulo de flujo óptico 6.3 realiza un filtrado
15 grosero del flujo de imagen basándose en la dirección del movimiento. A
continución el módulo de giro a la izquierda 6.4 avisa al sistema si el
vehículo portador está girando. A continuación el sistema de detección y
seguimiento 6.5 sigue las trayectorias de los objetos que se mueven y
activa, si procede, la señal de alarma correspondiente. A continuación, si la
20 alarma está activada, se activa el módulo de velocidad cero.

Se pueden establecer dos modos de operación. Si el vehículo
portador no está girando, únicamente se consideran las proyecciones de
las trayectorias a lo largo del eje horizontal. Si el módulo de seguimiento
detecta una trayectoria más larga que 15 imágenes, se genera una señal
25 de alarma y da una estimación de la distancia relativa y de velocidad
relativa del vehículo que se aproxima. Esta indicación es fiable en el caso
de carreteras planas y rectas, como autopistas o similares.

Si el detector de giro a la izquierda está activado los requerimientos
para que se active la alarma son más estrictos: Primero se filtran las
30 imágenes utilizando el detector de flujo óptico, a fin de reducir el ruido, y
las dos proyecciones (a lo largo del eje vertical y a lo largo del eje
horizontal) son tenidas en consideración. Unicamente si un efecto visual se
está moviendo hacia adelante tanto en el eje X como en el eje Y se activa

la señal de alarma. Ello se realiza de esta manera ya que durante las rotaciones los elementos visuales se caracterizan por tener una velocidad positiva según el eje X, pero con una velocidad aproximadamente nula según el eje Y, ya que se mantiene la altura de los mismos.

- 5 Adicionalmente la máscara se baja de posición y se desplaza hacia la derecha para cubrir la región de interés (el carril de adelantamiento) de las imágenes.

A continuación, el circuito lógico, en función de la información obtenida (presencia de vehículo, distancia del vehículo, y velocidad
10 relativa) activa, por ejemplo, un grupo de tres LED's (no representados en las Figs.) de tres colores diferentes (rojo, anaranjado, verde), lo que le permite comunicar diferentes niveles de aviso, en función de la peligrosidad. Son posibles una pluralidad de formas de presentación de los niveles de aviso: desde una única señal luminosa roja, que se active para
15 indicar la presencia de un objeto en la zona de detección, hasta dispositivos complejos, con diversas señales luminosas, acústicas y táctiles.

El dispositivo de detección tiene un alcance de más de 20 m. De esta manera, en la situación indicada anteriormente a modo de ejemplo, en
20 la que un vehículo desea entrar en una autopista, caso en el que puede haber velocidades relativas del orden de 120 km/h, el conductor recibe la señal de aviso con casi 1 s de tiempo.

En el caso de que el dispositivo de detección esté montado simultáneamente en dos espejos retrovisores exteriores del vehículo (uno
25 en cada lado del vehículo), es posible añadirle, adicionalmente, un dispositivo de detección de somnolencia del conductor. Preferentemente el dispositivo de detección de somnolencia comparte todos los elementos físicos del dispositivo de detección de presencia de objetos que participan en la captación y procesamiento de imágenes, como el receptor, el circuito
30 electrónico y el circuito lógico. Adicionalmente el dispositivo de detección de somnolencia dispone de un algoritmo que permite detectar la somnolencia de la manera que se describe a continuación.

Mediante las imágenes obtenidas a través de cada uno de los dispositivos de detección de presencia de objetos dispuestos en cada uno de los retrovisores se detectan las líneas de marcado del carril por el que circula el vehículo portador de los dispositivos de detección. De esta manera se puede detectar cuando el vehículo portador cruza una de dichas líneas de marcado. Efectivamente, como consecuencia de la somnolencia el conductor ya no es capaz de seguir el carril, marcado por las líneas de marcado, y se sale del mismo, creando una situación de peligro. El detector de somnolencia es capaz, por tanto, de detectar esta circunstancia y de emitir una señal de alarma.

Para reconocer dichas líneas de marcado, el dispositivo de detección de somnolencia analiza la imagen en la parte inmediatamente posterior del coche, extrae los bordes de la línea de marcado (las aristas de la misma) y las sigue a lo largo del tiempo. Se puede determinar la distancia entre la rueda y el borde de la línea de marcado y así es posible emitir una señal de alarma cuando dicha línea de marcado va a ser traspasada. Preferentemente el dispositivo de detección de somnolencia está conectado con el módulo de detección de giros, que le permite identificar el caso en el que se produzca una aproximación a la línea de marcado debido a que se está tomando una curva. Asimismo el dispositivo de detección de somnolencia recibe información sobre la posible activación de las luces intermitentes, lo que le permite discernir entre un cruce voluntario de las líneas de marcado de un cruce involuntario o, al menos, no notificado.

Si el dispositivo de detección de somnolencia detecta un cruce inadvertido de una línea de marcado, activa una señal de aviso. Esta señal de aviso puede ser táctil (por ejemplo vibraciones en el volante), luminosa y/o acústica.

Es posible asimismo realizar un dispositivo de detección de somnolencia a partir de un dispositivo de detección de presencia de objetos único, dispuesto en un único espejo retrovisor, si bien en este caso es probable que las prestaciones del mismo, en el sentido de la calidad o pertinencia de las señales de aviso que emite, no sean iguales.

El dispositivo de detección de somnolencia está enfocado siempre hacia atrás, y cubre exactamente la misma área de detección del dispositivo de detección de presencia de objetos, ya que preferentemente comparte con él todos los elementos físicos de detección y de cálculo.

REIVINDICACIONES

5

1.- Dispositivo de detección de presencia de objetos, del tipo que van montados en un vehículo automóvil, dicho vehículo automóvil presentando por lo menos un ángulo muerto, donde dicho dispositivo de detección es apto para detectar un objeto situado en dicho ángulo muerto
10 caracterizado porque comprende: [a] un receptor (7) apto para detectar unas ondas electromagnéticas, dicho receptor (7) comprendiendo un dispositivo focalizador, y un fotosensor que transforma dichas ondas electromagnéticas recibidas en unas señales eléctricas, dicho fotosensor definiendo una superficie de imagen, [b] un circuito electrónico (9) que
15 transforma dichas señales eléctricas en unas señales digitalizadas, [c] un circuito lógico (15) que analiza dichas señales digitalizadas para analizar la presencia de objetos en dicho ángulo muerto con un movimiento relativo respecto de dicho vehículo, y que genera unas señales de salida variables en función del resultado de dicho análisis, [d] unos elementos indicadores,
20 activados mediante dichas señales de salida.

2.- Dispositivo de detección según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho fotosensor está constituido por unos elementos sensores activos que presentan un rango dinámico igual o superior a las seis décadas en una misma superficie de imagen, y por que un mismo
25 elemento sensor presenta un rango dinámico igual o superior a las seis décadas entre dos imágenes consecutivas.

3.- Dispositivo de detección según una de las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque dicho fotosensor está constituido por unos fotodiodos, aptos para transformar dichas ondas electromagnéticas en una
30 corriente eléctrica.

4.- Dispositivo de detección según la reivindicación 3, caracterizado porque dicha corriente eléctrica es transformada en una tensión eléctrica y porque dicha tensión eléctrica es amplificada.

5.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque dicho fotosensor comprende una matriz de dos dimensiones de dichos elementos sensores, que define una serie de filas de elementos sensores, donde cada una de dichas filas se extiende en una primera dirección y es paralela a las restantes filas, y donde el conjunto de filas conforma dicha superficie de imagen.

6.- Dispositivo de detección según la reivindicación 5, caracterizado porque dicho circuito electrónico (9) efectúa una selección de cada uno de dichos elementos sensores activando la correspondiente fila y la correspondiente posición en dicha fila, siendo así posible seleccionar cualquier elemento sensor a continuación de cualquier elemento sensor.

7.- Dispositivo de detección según la reivindicación 5, caracterizado porque dicho circuito electrónico (9) transforma simultáneamente todas las señales eléctricas de una fila de elementos sensores a señales digitalizadas.

8.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque dicho circuito electrónico (9) comprende una etapa de amplificación (11) y una etapa de digitalización (ADC).

9.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 5 a 8, caracterizado porque cada fila dispone de como máximo 512 elementos sensores activos para el procesado, y porque dispone de como máximo 512 filas de elementos sensores activas para el procesado de la imagen.

10.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 5 a 8, caracterizado porque cada fila dispone de como máximo 320 elementos sensores activos para el procesado de la imagen, y porque dispone de como máximo 256 filas de elementos sensores activas para el procesado de la imagen.

11.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque dicho circuito lógico (15) realiza una convolución matemática a lo largo de toda dicha superficie de imagen de la señal digitalizada.

12.- Dispositivo de detección según la reivindicación 11, caracterizado porque dicha convolución matemática sobre toda dicha superficie de imagen se realiza mediante un kernel de convolución apropiado para una detección de movimiento.

5 13.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado porque dicho circuito lógico (15) es apto para la detección de movimiento en por lo menos una dirección determinada, siendo dicha dirección ajustable en función de la ubicación de dicho dispositivo focalizador, y por que dicho circuito lógico (15) es
10 capaz de determinar la velocidad relativa de dicho movimiento en dicha dirección.

14.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 11 a 13, caracterizado porque dicho circuito lógico (15) comprende un circuito electrónico especializado que incluye: [a] una
15 unidad central de proceso (CPU) secuencial de tipo Von Neumann, [b] un coprocesador en paralelo (TOT), especializado en el cálculo de dicha convolución sobre toda dicha superficie de imagen, dicho coprocesador incluyendo por lo menos 32 multiplicadores acumuladores paralelos con una alta velocidad de cálculo aptos para calcular dicha convolución
20 directamente sobre dicha superficie de imagen a una velocidad de cálculo, tal que dicha convolución se complete antes de iniciarse una nueva adquisición de imagen, y [c] una memoria RAM (SRAM) local.

15.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizado porque dicha convolución se
25 calcula en un tiempo menor o igual a 100 ms.

16.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 15, caracterizado porque es apto para distinguir un vehículo de otros objetos.

17.- Dispositivo de detección según la reivindicación 16,
30 caracterizado porque realiza dicha distinción a base de reconocer unas aristas, claramente marcadas en sentido vertical y horizontal sobre el pavimento de la carretera, en una imagen.

18.- Dispositivo de detección según una de las reivindicaciones 16 ó 17, caracterizado porque si ha detectado un vehículo, analiza a partir de la siguiente imagen dicha velocidad relativa.

5 19.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 18, caracterizado porque divide dicha superficie de imagen en por lo menos dos partes (25, 27, 29), y porque en cada una de dichas partes (25, 27, 29) emplea técnicas de análisis diferentes.

10 20.- Dispositivo de detección según la reivindicación 19, caracterizado porque en una de dichas partes (25, 29) dicha técnica consiste en el reconocimiento de dichas aristas y el seguimiento de las mismas a lo largo de diversas imágenes para calcular dicha velocidad relativa.

15 21.- Dispositivo de detección según una de las reivindicaciones 19 ó 20, caracterizado porque en por lo menos una de dichas partes (27, 29) se emplea una técnica basada en una diferencia de fase para obtener una estimación del flujo óptico en una dirección determinada.

22.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 21, caracterizado porque tiene un radio de acción de por lo menos 15 metros.

20 23.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 22, caracterizado porque dicho dispositivo focalizador comprende por lo menos una lente.

25 24.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 23, caracterizado porque dicho dispositivo focalizador comprende una guía de transmisión de ondas electromagnéticas apta para guiar las ondas electromagnéticas desde una primera zona, encarada hacia dicho ángulo muerto, hasta una segunda zona, en la que se aloja dicho circuito electrónico (9).

30 25.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 24, caracterizado porque dichas ondas electromagnéticas son ondas visibles.

26.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 25, caracterizado porque dicho circuito electrónico (9) es de tecnología CMOS, DMOS, MOS, Si-Ge o BiCMOS.

5 27.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 26, caracterizado porque dicho fotosensor es de tecnología CMOS, DMOS, MOS, Si-Ge o BiCMOS.

28.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 27, caracterizado porque dicho circuito electrónico (9) es de tecnología SOI (silicon on insulator).

10 29.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 28, caracterizado porque dicho fotosensor es de tecnología SOI (silicon on insulator).

30.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 29, caracterizado porque dicho fotosensor y dicho
15 circuito electrónico (9) están físicamente unidos en un módulo multi-chip (MCM, multi chip module) sobre un sustrato de material plástico, fibra de vidrio (FR4), cerámico o de silicio.

31.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 30, caracterizado porque dicho dispositivo focalizador
20 comprende una microlente integrada en un circuito integrado que incluye dicho dispositivo focalizador.

32.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 31, caracterizado porque dicho fotosensor está alojado en el interior del conjunto espejo retrovisor exterior del vehículo.

25 33.- Dispositivo de detección según la reivindicación 32, caracterizado porque dispone de un fotosensor en cada uno de los espejos retrovisores exteriores del vehículo.

34.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 33, caracterizado porque detecta, adicionalmente si
30 dicho vehículo ha inicializado acciones indicadoras de una aproximación a dicho objeto.

35.- Dispositivo de detección según la reivindicación 34, caracterizado porque dichas acciones indicadoras comprenden la puesta en marcha de una luz intermitente.

36.- Dispositivo de detección según una de las reivindicaciones 34 ó 35, caracterizado porque dichas acciones comprenden efectuar un giro de un volante.

37.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 36, caracterizado porque dichos elementos indicadores incluyen unas señales luminosas con por lo menos dos colores, donde cada color indica un nivel de aviso diferente.

38.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 37, caracterizado porque dichos elementos indicadores incluyen un elemento de salida que permite la representación de pictogramas, donde dicho elemento de salida es una matriz de LED's o una pantalla.

39.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 38 donde dicho vehículo dispone de unas puertas con un cierre de seguridad, caracterizado porque es apto para actuar sobre dicho cierre.

40.- Dispositivo de detección según por lo menos una de las reivindicaciones 1 a 39, caracterizado porque comprende, adicionalmente, un dispositivo de detección de somnolencia del conductor.

41.- Dispositivo de detección según la reivindicación 40, caracterizado porque dicho dispositivo de somnolencia comparte dicho receptor (7), dicho circuito electrónico (9) y dicho circuito lógico (15) con dicho circuito de detección de presencia de objetos.

42.- dispositivo de detección según una de las reivindicaciones 40 ó 41, caracterizado porque dicho dispositivo de detección de somnolencia emite una señal de alarma en función de la posición relativa dicho vehículo automóvil y unas líneas de marcado.

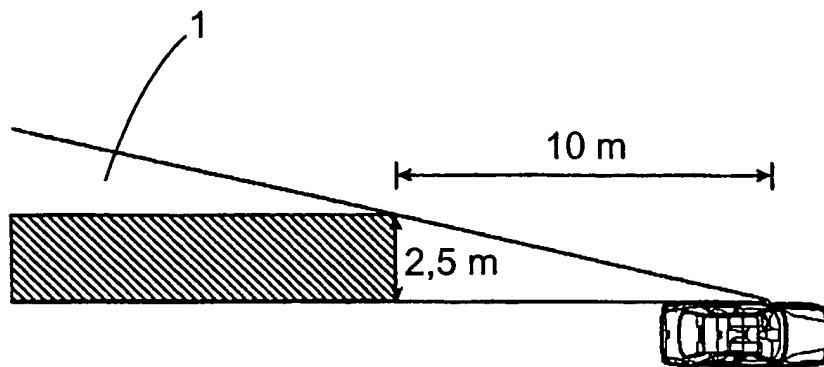


FIG. 1A

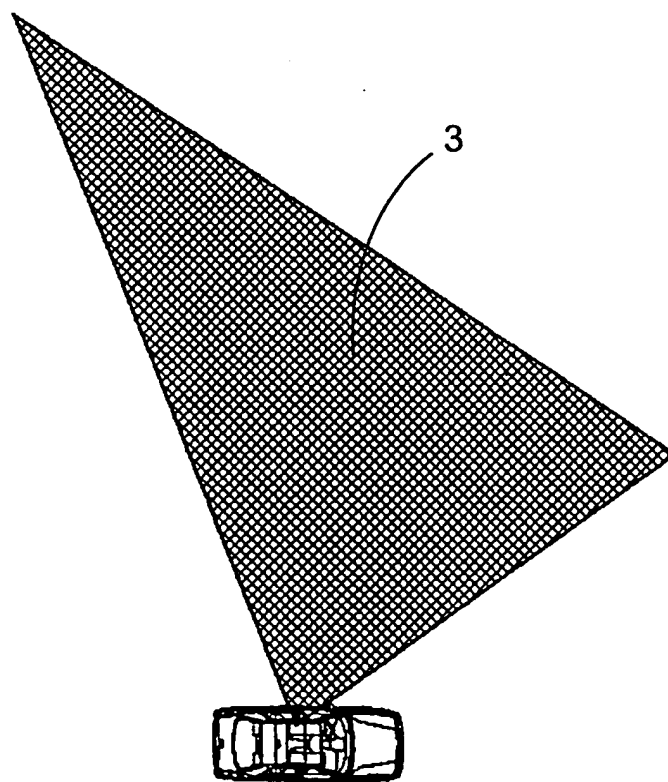


FIG. 1B

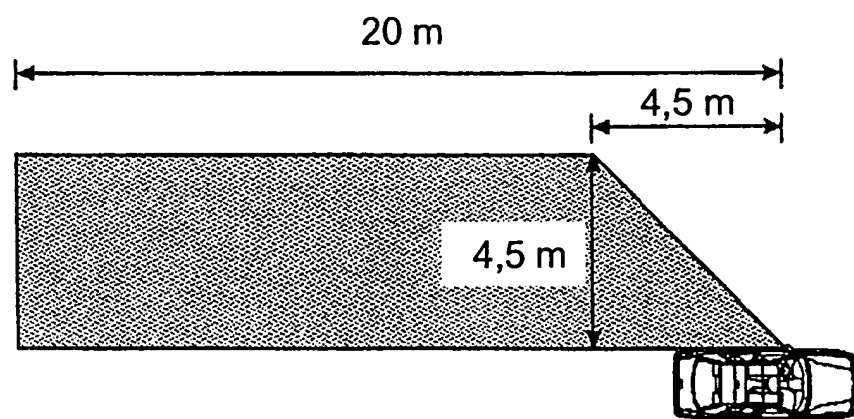


FIG. 1C

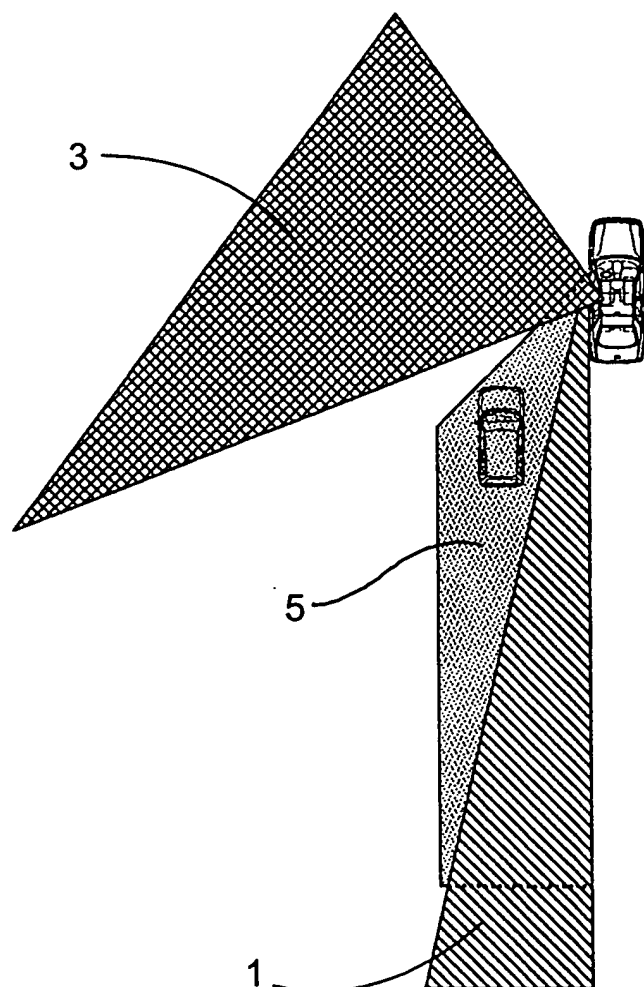


FIG. 1D

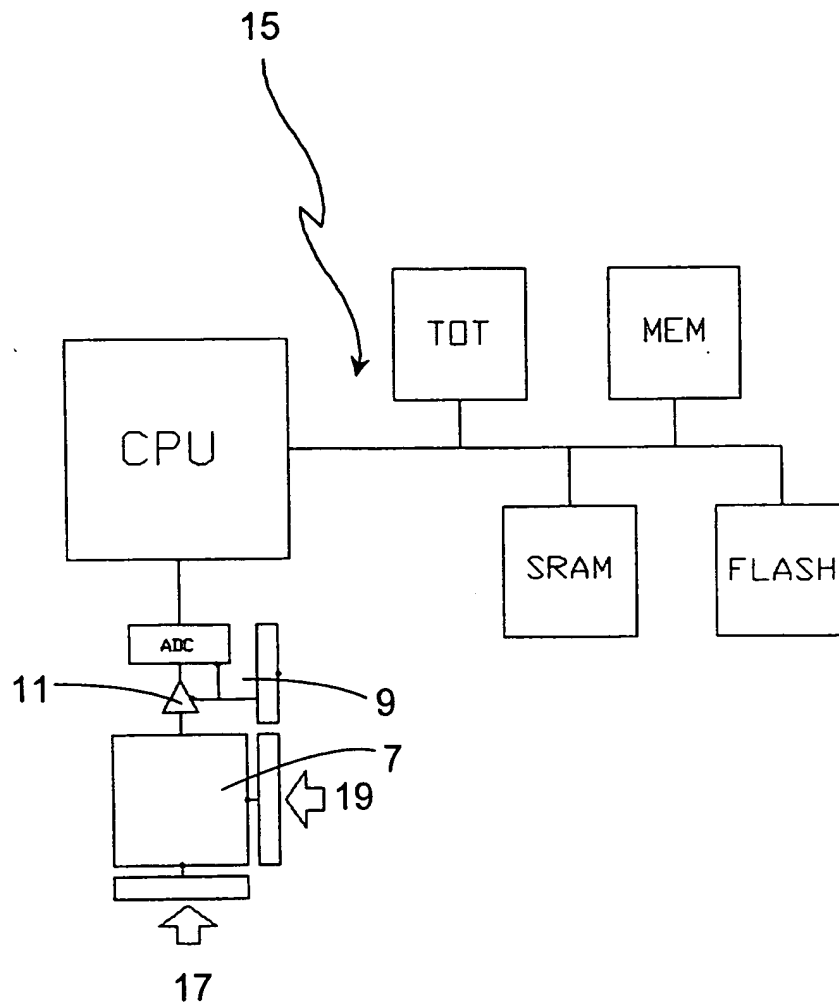


Fig. 2

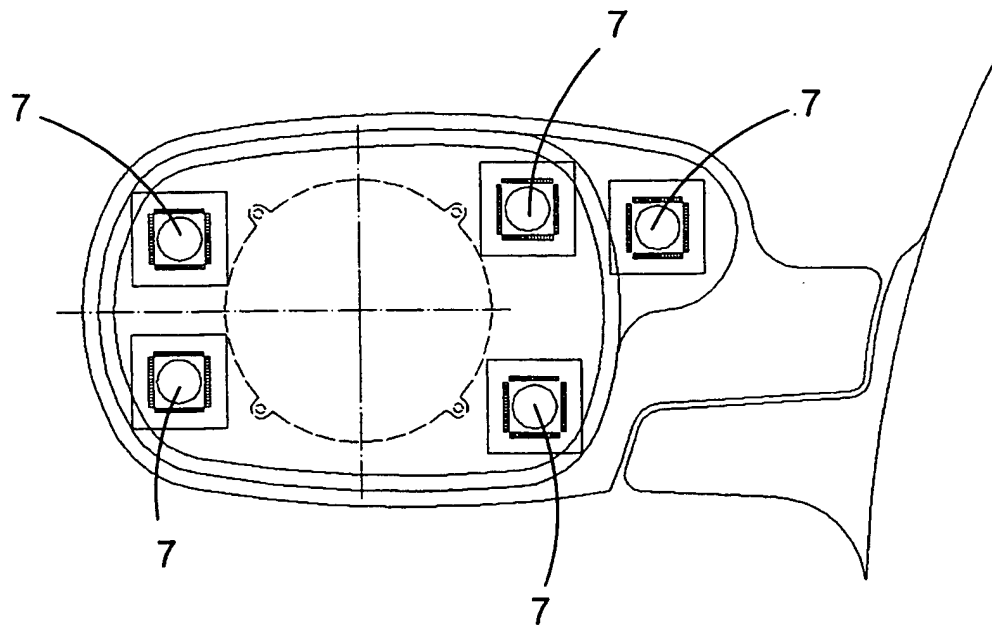


Fig. 3

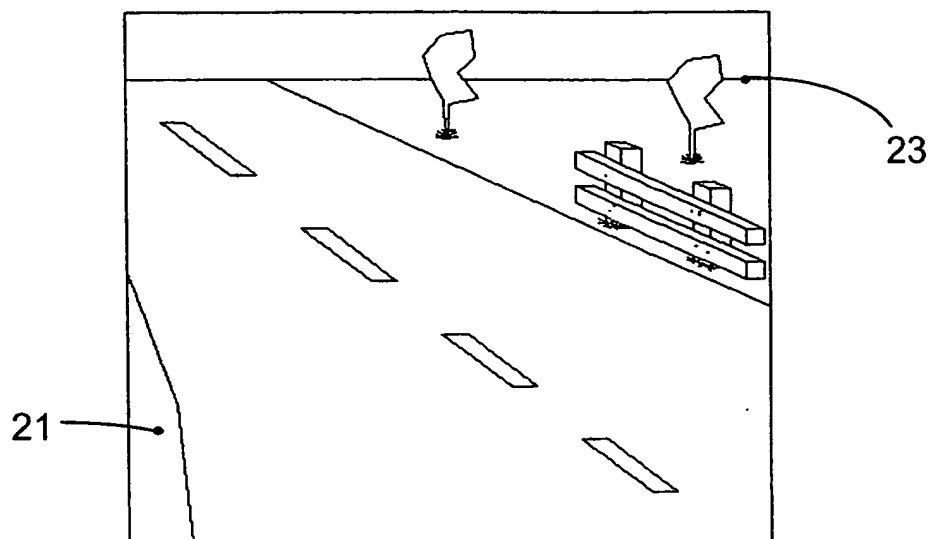


Fig. 4

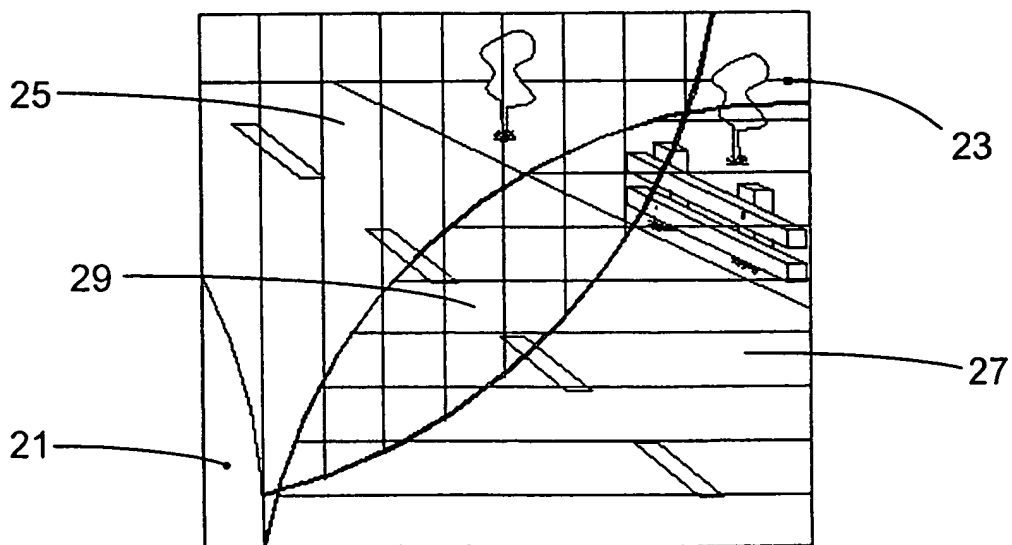


Fig. 5

6/6

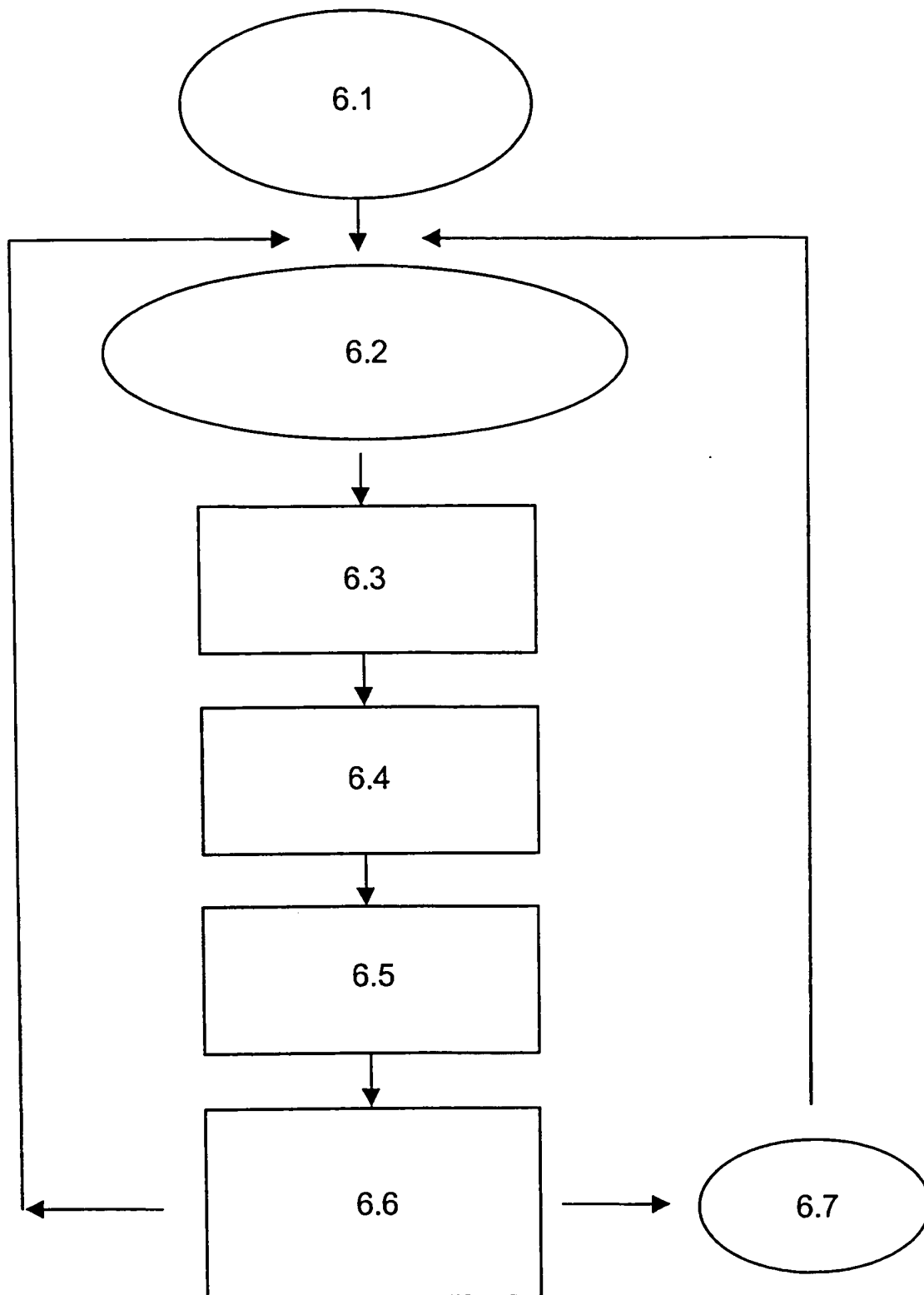


FIG. 6